

LAS PARTÍCULAS ELEMENTALES

Las **partículas elementales** son los constituyentes elementales de la materia, más precisamente son partículas que no están constituidas por partículas más pequeñas ni se conoce que tengan estructura interna.

Originalmente el término partícula elemental se usó para toda partícula subatómica como los protones y neutrones, los electrones y otros tipos de partículas exóticas que sólo pueden encontrarse en los rayos cósmicos o en los grandes aceleradores de partículas, como los piones o los muones. Sin embargo, a partir de los años 1970 quedó claro que los protones y neutrones son partículas compuestas de otras partículas más simples. Actualmente el nombre partícula elemental se usa para las partículas que, hasta donde se sabe, no están formadas por partículas más simples.

Cuando a principios del siglo XIX John Dalton postuló su teoría atómica, consideró que los átomos eran indivisibles y por tanto en cierto modo partículas elementales. Los avances en el conocimiento de la estructura atómica revelaron que los átomos no eran ni mucho menos indivisibles y estaban formados por partículas más elementales: protones, neutrones y electrones. El estudio de las partículas que forman el núcleo atómico, reveló que estas no eran elementales, sino que estaban formadas por partículas más simples. Los neutrones, protones y otras partículas están compuestas por los hadrones y los mesones. Tanto los hadrones como los mesones están constituidos por partículas más pequeñas, llamadas quarks y antiquarks y "nubes" de gluones que los mantienen unidos.

La lista de partículas subatómicas que actualmente se conocen consta de centenares de estas partículas subatómicas, situación que sorprendió a los físicos, hasta que fueron capaces de comprender que muchas de esas partículas realmente no eran elementales sino compuestas de elementos más simples llamados quarks y leptones que interactúan entre ellos mediante el intercambio de bosones. En el modelo estándar, que refleja nuestro estado de conocimiento sobre los constituyentes últimos de la materia, los quarks, los leptones y los bosones de intercambio se consideran partículas elementales, ya que no existe evidencia de que a su vez estuvieran formados por otras partículas más "pequeñas".

Si bien las partículas más pesadas (hadrones) y las de masa intermedia (mesones) que respondían a la interacción fuerte fueron consideradas elementales, actualmente se sabe que son partículas compuestas. Sólo las partículas más ligeras (leptones) que no resultaban afectadas por la interacción fuerte, resultaron ser elementales. Los dos tipos de leptones más comunes son los electrones y los neutrinos, de las que como se ha dicho se cree son realmente elementales. Los neutrinos, entidades que comenzaron su existencia como artificios matemáticos, ya han sido detectados y forman parte de todas las teorías físicas de la composición de la materia, de la cosmología, astrofísica y otras disciplinas.

Actualmente se cree que los **leptones**, **quarks** (estos dos primeros tipos son fermiones) y **bosones gauge**, son todos los constituyentes más pequeños de la materia y por tanto serían partículas propiamente elementales. Existe un problema interesante en cuanto a estas partículas propiamente

elementales, ya que parecen los leptones, por ejemplo, agruparse en series homofuncionales, siendo cada generación similar a la anterior pero formada por partículas más masivas:

- Generación 1: electrón, neutrino electrónico, quark arriba, quark abajo.
- Generación 2: muon, neutrino muónico, quark extraño, quark encantado.
- Generación 3: tauón, neutrino tauónico, quark fondo, quark cima.

Aunque no se tienen demasiadas ideas de por qué existen estas tres generaciones, en la teoría de cuerdas el número de generaciones existentes tiene que ver con la topología de la variedad de Calabi-Yau que aparece en su formulación. Concretamente el número de generaciones coincidiría en esta teoría con la mitad del valor absoluto del número de Euler de la variedad de Calabi-Yau.³ Sin embargo, esto no es estrictamente una predicción ya que en el estudio actual de la teoría de cuerdas pueden construirse espacios de Calabi-Yau de diferente número de Euler. Se sabe que si quiere construirse una teoría de cuerdas que de lugar a sólo tres generaciones, el número de Euler debe ser ± 6 .

Existe la hipótesis de que los quarks están formados de preones.

La **física de partículas** es la rama de la física que estudia los componentes elementales de la materia y las interacciones entre ellos.¹

Las partículas fundamentales se subdividen en bosones (partículas de espín entero, como por ejemplo 0, 1, 2...), que son las responsables de transmitir las fuerzas fundamentales de la naturaleza, y fermiones (partículas de espín semientero, como por ejemplo 1/2 o 3/2).

Se conoce a esta rama también como *física de altas energías*, debido a que muchas de las partículas se las puede ver sólo en grandes colisiones provocadas en los aceleradores de partículas.²

Los físicos de partículas se han esforzado desde un principio por clasificar las partículas conocidas y por describir toda la materia y sus interacciones. A lo largo de la historia de la física han existido muchas partículas que en su momento se han definido como indivisibles, tales como los protones y neutrones, que más adelante se ha demostrado que si lo son. Después de diferentes teorías atómicas y nucleares, en la actualidad se usa el llamado modelo estándar para describir la materia que constituye el universo y sus interacciones.

De acuerdo con el modelo estándar, existen seis tipos de quarks, seis tipos de leptones y cuatro tipos de bosones. Estas partículas están divididas en dos grandes categorías por el principio de exclusión de Pauli: las que no están sujetas a este principio son los bosones y a las que sí lo están se las llama fermiones.

Los bosones son partículas que no cumplen el principio de exclusión de Pauli, por lo que dos partículas pueden ocupar el mismo estado cuántico. A temperaturas muy bajas tienden a ocupar el nivel energético más bajo, ocupando todas las partículas el mismo estado cuántico.⁵ En 1924, Satyendra Nath Bose y Albert Einstein postularon un modelo de estadística, conocida ahora como estadística de Bose-Einstein, para moléculas a temperaturas muy cercanas al cero absoluto; esta misma estadística resulta que puede aplicarse también a este tipo de partículas.

Según el modelo estándar, los bosones son cuatro: fotón, bosón W, bosón Z y gluón. Las teorías matemáticas que estudian los fenómenos de estas partículas son, en el caso de la interacción fuerte, de los gluones, la cromodinámica cuántica; y en el caso de la interacción electrodébil, de fotones y bosones W y Z, la electrodinámica cuántica.

Los fermiones son partículas con espín, o momento angular intrínseco, fraccionario y que sí están sujetos al principio de exclusión de Pauli. O sea que dos partículas no pueden estar en un mismo estado cuántico en el mismo momento. Su distribución está regida por la estadística de Fermi-Dirac; de ahí su nombre.⁸

Los fermiones son básicamente partículas de materia, pero a diferencia de los bosones, no todos los fermiones son partículas elementales. El caso más claro es el de los protones y neutrones; estas partículas son fermiones pero están compuestos de quarks, que, en nuestro nivel actual de conocimientos, sí se consideran como elementales.

Los fermiones se dividen en dos grupos: los quarks y los leptones. Esta diferencia se aplica debido a que los leptones pueden existir aislados, a diferencia de los quarks que se encuentran siempre en presencia de otros quarks. Los grupos de quarks no pueden tener carga de color debido a que los gluones que los unen poseen carga de color.

Las partículas se agrupan en generaciones. Existen tres generaciones: ·la primera está compuesta por el electrón, su neutrino y los quarks up y down. ·La materia ordinaria está compuesta por partículas de esta primera generación. ·Las partículas de otras generaciones se desintegran en partículas de las generaciones inferiores.

Los físicos de partículas denominan como hadrones a las partículas que se componen de otras más elementales. Los hadrones están compuestos de quarks, antiquarks y de gluones. La carga eléctrica de los hadrones es un número entero, por lo que la suma de la carga de los quarks que los componen debe ser un entero.¹⁰

La interacción fuerte es la que predomina en los hadrones, aunque también se manifiestan la interacción electromagnética y la débil. Las partículas con carga de color interactúan mediante gluones; los quarks y los gluones, al tener carga de color, están confinados a permanecer unidos en una partícula con carga de color neutra.¹² La formulación teórica de estas partículas la realizaron simultánea e independientemente Murray Gell-Mann y George Zweig en 1964, en el llamado modelo de quarks. Este modelo ha recibido numerosas confirmaciones experimentales desde entonces.

Los hadrones se subdividen en dos clases de partículas, los bariones y los mesones.

Los bariones son partículas que contienen tres quarks, algunos gluones y algunos antiquarks. Los bariones más conocidos son los nucleones; es decir, los protones y neutrones, además de otras partículas más masivas conocidas como hiperones.¹³ Dentro de los bariones existe una intensa interacción entre los quarks a través de los gluones, que transporta la interacción fuerte. Como los gluones tienen carga de color, en los bariones las partículas que lo contienen cambian rápidamente de carga de color, pero el conjunto del barión permanece con carga de color neutra.¹⁴

Los bariones son también fermiones, por lo que el valor de su espín es $1/2, 3/2, \dots$. Como todas las partículas, los bariones tienen su partícula de antimateria llamada antibarión, que se forma con la unión de tres antiquarks. Sin contar con los nucleones, la mayoría de bariones son inestables.

Los mesones son partículas formadas por un quark, un antiquark y la partícula que las une, el gluón. Todos los mesones son inestables; pese a ello pueden encontrarse aislados debido a que las cargas de color del quark y del antiquark son opuestas, obteniendo un mesón con carga de color neutra. Los mesones son además bosones, ya que la suma de los espines, de sus quark-antiquark más la contribución del movimiento de estas partículas es un número entero.¹⁵ Se conoce también que el mesón posee interacciones fuertes, débiles y electromagnéticas.¹³

En este grupo se incluyen el pion, el kaón, la J/ψ , y muchas otras. Puede que existan también mesones exóticos, aunque no existe evidencia experimental de ellos.

Entre las principales partículas conjeturadas teóricamente y que aún no han sido confirmadas por ningún experimento hasta el 2008, se encuentran:

- El bosón de Higgs es la única partícula del modelo estándar cuya existencia aún no se confirmó.¹⁶ Experimentos en el Gran colisionador de hadrones han confirmado el hallazgo de una partícula que podría ser el bosón de Higgs, aunque se está a la espera de mayores precisiones.¹⁷ En la formulación del modelo electrodébil, la partícula que podría explicar la diferencia de masas de los bosones W y Z y el fotón; se postula que para poder romper espontáneamente la simetría de un campo de Yang-Mills se necesita una partícula, ahora conocida como bosón de Higgs. Esta partícula en un campo de Higgs daría las respuestas a esta interrogante.¹⁸
- El gravitón es el hipotético bosón para la interacción gravitatoria que ha sido propuesto en las teorías de la gravedad cuántica. No suele formar parte del modelo estándar debido a que no se ha encontrado experimentalmente. Se teoriza que interactuaría con leptones y quarks y que no tendría masa.¹⁹

La teoría de supersimetría plantea la existencia de partículas supercompañeras de las actuales partículas existentes.²⁰ Así, entre las más destacadas tenemos:

- El neutralino es la mejor candidata, en el modelo estándar, para partícula de materia oscura. En la teoría de supersimetría, el neutralino es una partícula neutra, estable y super ligera,²¹ que no tiene una pareja simétrica en las partículas ordinarias.²²
- Los sleptones y los squarks son los compañeros supersimétricos de los fermiones del modelo estándar.²⁰
- El fotino, el wino, el zino, el gravitino y el gluino son las partículas supercompañeras de los bosones.²⁰
- Un WIMP (del inglés: partícula masiva que interactúa débilmente) son unas partículas hipotéticas propuestas para explicar la materia oscura (como el neutralino o el axión).
- El pomerón, usado en la teoría Regge para explicar el fenómeno de la dispersión elástica de los hadrones y la posición de los polos de Regge.

- El skirni3n, un soliti3n topol3gico para el campo del pion que se usa para modelar las propiedades a baja energa del nucle3n.
- El bos3n de Goldstone es una excitaci3n sin masa de un campo cuya simetría ha sido rota espontáneamente. Los piones son casi bosones de Goldstone por la ruptura de la simetría del isospín de la quiralidad en la cromodinámica cuántica (no lo es porque tiene masa).
- El goldstino (fermi3n) se produce entonces por la ruptura espontánea de la supersimetría por el bos3n de Goldstone.
- El instant3n es una configuraci3n de campo que es un m3nimo local de una acci3n euclídea. Se usan en cálculos no perturbativos del efecto túnel.

De acuerdo con su masa y rango de velocidad alcanzable las partículas hipotéticas (y las reales) pueden clasificarse en:

- Un tardi3n viaja más lento que la luz y tiene una masa en reposo no nula. Todas las partículas con masa pertenecen a esta categoría.
- Un lux3n viaja exactamente a la velocidad de la luz, y no tiene masa. Todas las partículas bos3nicas sin masa pertenecen a esta categoría, usualmente se acepta que los neutrinos también pertenecen a esta categoría.
- Un taqui3n es una partícula hipotética que viaja más rápido que la luz, y cuya masa debe de ser imaginaria. No se han detectado ejemplos de este tipo de partícula.

Las ecuaciones de campo de la física de la materia condensada son muy similares a las de la física de partículas. Por eso, mucha de la teoría de la física de partículas se puede aplicar a la física de la materia condensada, asignando a cada campo o excitaci3n de la misma un modelo que incluye "cuasipartículas". Se incluyen:

- Los fonones, modos vibratorios en una estructura cristalina.
- Los excitones, que son la superposici3n de un electr3n y un hueco.
- Los plasmones, conjunto de excitaciones coherentes de un plasma.
- Los polaritones son la mezcla de un fot3n y otra de las cuasipartículas de esta lista.
- Los polarones, que son cuasipartículas cargadas en movimiento que están rodeadas de iones en un material.
- Los magnones son excitaciones coherentes de los espines de los electrones en un material.

Los más importantes laboratorios de física de partículas en el mundo son:

- CERN, localizado entre la frontera Franco-Suiza cerca de la ciudad suiza de Ginebra, Fermilab, localizado cerca de Chicago en Estados Unidos, Laboratorio Nacional Brookhaven, localizado en Long Island (Estados Unidos), DESY, localizado en Hamburgo (Alemania), KEK, localizado en Tsukuba (Jap3n), SLAC, localizado en Palo Alto (Estados Unidos).